معجزة
إنزال الحديد
وبأسه الشديد
فى القرآن الكريم
والفيزياء الفلكية والنووية

أ. د. عبدالله محمد البلتاجى

١ـ مقدمة :-

عندما نزل القرآن الكريم على المصطفى (صلى الله عليه وسلم) فى المدة بين عامى ٦١٠ – ٦٣٢ م ، كان متحديا العرب ـ أصحاب اللغة والفصاحة والمعلقات – أن يأتوا بمثله وذلك فى قوله تعالى :

﴿ قُل لَّئِنِ ٱجْتَمَعَتِ ٱلْإِنسُ وَٱلْجِنُّ عَلَىٰٓ أَن يَأْتُوا۟ بِمِثْلِ هَٰذَا ٱلْقُرْءَانِ لَا يَأْتُونَ بِمِثْلِهِۦ وَلَوْ كَانَ بَعْضُهُمْ لِبَعْضٍ ظَهِيرًا ﴿٨٨﴾ ﴾ [1] .

ثم زاد التحدى لهم فى أن يأتوا بعشر سور مفتريات من مثله فى قوله تعالى :

﴿ أَمْ يَقُولُونَ ٱفْتَرَىٰهُ ۖ قُلْ فَأْتُوا۟ بِعَشْرِ سُوَرٍ مِّثْلِهِۦ مُفْتَرَيَٰتٍ وَٱدْعُوا۟ مَنِ ٱسْتَطَعْتُم مِّن دُونِ ٱللَّهِ إِن كُنتُمْ صَٰدِقِينَ ﴿١٣﴾ ﴾ [2] .

ثم زاد التحدى لهم فى أن يأتوا بسورة واحدة من مثله فى قوله تعالى :

﴿ وَإِن كُنتُمْ فِى رَيْبٍ مِّمَّا نَزَّلْنَا عَلَىٰ عَبْدِنَا فَأْتُوا۟ بِسُورَةٍ مِّن مِّثْلِهِۦ وَٱدْعُوا۟ شُهَدَآءَكُم مِّن دُونِ ٱللَّهِ إِن كُنتُمْ صَٰدِقِينَ ﴿٢٣﴾ ﴾ [3] .

ولما كان القرآن الكريم هو رسالة السماء الخاتمة إلى الأرض فقد شاءت إرادة الله تعالى أن يكون إعجازه متجددا على مر العصور والدهور ، فبعد الإعجاز البيانى واللغوى جاء الإعجاز التاريخى فى الحديث عن الأمم والشعوب والحضارات القديمة والسابقة ، ثم كان الإعجاز التشريعى والقانونى الذى سبق به القرآن الكريم تشريعات البشر ، وها نحن فى عصر العلم والتكنولوجيا نرى إشارات وشواهد الإعجاز العلمى " إن المعجزة العلمية هى التى تناسب الرسالة العالمية الخاتمة والمستويات البشرية المختلفة ، وأنه قد حان الوقت لإظهار رؤية حقائق العلم الذى أنبأ به القرآن والسنة " [4] .

ثم جاء الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم فى شتى مجالات العم الحديث ، من الأحياء (Biology) والجيولوجيا ، إلى الفيزياء والكيمياء ، ثم الفلك، واليوم يسعدنا أن نقدم هذا البحث ببعض من التفصيل – بعد كثير من التناول السابق – فى الفيزياء الفلكية والنووية .

١ـ١ : النص المعجز فى القرآن والتفاسير :-

﴿ وَأَنزَلْنَا ٱلْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ ﴾ [5]

آيات الحديد فى القرآن الكريم :

جاء تكرار لفظى " حديد – الحديد " فى القرآن الكريم فى عدد (٦) آيات من الذكر الحكيم فى قوله تعالى :

---

[1] - **سورة الإسراء آية: ٨٨ .**
[2] - **سورة هود آية: ١٣.**
[3] - **سورة البقرة آية: ٢٣ .**
[4] - الزندانى : د. عبد المجيد – سعاد يلدرم – محمد الأمين ولد محمد – من أبحاث المؤتمر الأول للإعجاز العلمى – تأصيل الإعجاز العلمى فى القرآن والسنة – ص ١١ – ١٩٨٧ م .
[5] - سورة الحديد – الآية ٢٥ .

١) ﴿ قُلۡ كُونُواْ حِجَارَةً أَوۡ حَدِيدًا ۝٥٠ ﴾ [سورة الإسراء آية: ٥٠]

٢) ﴿ ءَاتُونِي زُبَرَ ٱلۡحَدِيدِۖ حَتَّىٰٓ إِذَا سَاوَىٰ بَيۡنَ ٱلصَّدَفَيۡنِ قَالَ ٱنفُخُواْۖ حَتَّىٰٓ إِذَا جَعَلَهُۥ نَارًا قَالَ ءَاتُونِيٓ أُفۡرِغۡ عَلَيۡهِ قِطۡرًا ۝٩٦ ﴾ [سورة الكهف آية: ٩٦]

٣) ﴿ وَلَهُم مَّقَٰمِعُ مِنۡ حَدِيدٍ ۝٢١ ﴾ [سورة الحج آية: ٢١]

٤) ﴿ ۞ وَلَقَدۡ ءَاتَيۡنَا دَاوُۥدَ مِنَّا فَضۡلًاۖ يَٰجِبَالُ أَوِّبِي مَعَهُۥ وَٱلطَّيۡرَۖ وَأَلَنَّا لَهُ ٱلۡحَدِيدَ ۝١٠ ﴾ [سورة سبأ آية: ١٠]

٥) ﴿ لَّقَدۡ كُنتَ فِي غَفۡلَةٍ مِّنۡ هَٰذَا فَكَشَفۡنَا عَنكَ غِطَآءَكَ فَبَصَرُكَ ٱلۡيَوۡمَ حَدِيدٌ ۝٢٢ ﴾ [سورة ق آية: ٢٢]

٦) ﴿ لَقَدۡ أَرۡسَلۡنَا رُسُلَنَا بِٱلۡبَيِّنَٰتِ وَأَنزَلۡنَا مَعَهُمُ ٱلۡكِتَٰبَ وَٱلۡمِيزَانَ لِيَقُومَ ٱلنَّاسُ بِٱلۡقِسۡطِۖ وَأَنزَلۡنَا ٱلۡحَدِيدَ فِيهِ بَأۡسٞ شَدِيدٞ وَمَنَٰفِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعۡلَمَ ٱللَّهُ مَن يَنصُرُهُۥ وَرُسُلَهُۥ بِٱلۡغَيۡبِۚ إِنَّ ٱللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٞ ۝٢٥ ﴾ [سورة الحديد آية: ٢٥]

١-٢: آيات " بأس شديد " فى القرآن الكريم :-

جاءت أيضا تكرارات لفظى " بأس شديد " بإشتقاقاتهما فى القرآن الكريم فى عدد (٦) آيات من الذكر الحكيم فى قوله تعالى :-

١) ﴿ فَإِذَا جَآءَ وَعۡدُ أُولَىٰهُمَا بَعَثۡنَا عَلَيۡكُمۡ عِبَادًا لَّنَآ أُوْلِي بَأۡسٖ شَدِيدٖ فَجَاسُواْ خِلَٰلَ ٱلدِّيَارِۚ وَكَانَ وَعۡدًا مَّفۡعُولًا ۝٥ ﴾ [سورة الإسراء آية: ٥]

٢) ﴿ قَيِّمًا لِّيُنذِرَ بَأۡسًا شَدِيدًا مِّن لَّدُنۡهُ وَيُبَشِّرَ ٱلۡمُؤۡمِنِينَ ٱلَّذِينَ يَعۡمَلُونَ ٱلصَّٰلِحَٰتِ أَنَّ لَهُمۡ أَجۡرًا حَسَنًا ۝٢ ﴾ [سورة الكهف آية: ٢]

٣) ﴿ قَالُواْ نَحۡنُ أُوْلُواْ قُوَّةٖ وَأُوْلُواْ بَأۡسٖ شَدِيدٖ وَٱلۡأَمۡرُ إِلَيۡكِ فَٱنظُرِي مَاذَا تَأۡمُرِينَ ۝٣٣ ﴾ [سورة النمل آية: ٣٣]

٤) ﴿ قُل لِّلْمُخَلَّفِينَ مِنَ ٱلْأَعْرَابِ سَتُدْعَوْنَ إِلَىٰ قَوْمٍ أُو۟لِى بَأْسٍ شَدِيدٍ تُقَٰتِلُونَهُمْ أَوْ يُسْلِمُونَ ۖ فَإِن تُطِيعُوا۟ يُؤْتِكُمُ ٱللَّهُ أَجْرًا حَسَنًا ۖ وَإِن تَتَوَلَّوْا۟ كَمَا تَوَلَّيْتُم مِّن قَبْلُ يُعَذِّبْكُمْ عَذَابًا أَلِيمًا ﴿١٦﴾ ﴾ [سورة الفتح آية: ١٦]

٥) ﴿ لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِٱلْبَيِّنَٰتِ وَأَنزَلْنَا مَعَهُمُ ٱلْكِتَٰبَ وَٱلْمِيزَانَ لِيَقُومَ ٱلنَّاسُ بِٱلْقِسْطِ ۖ وَأَنزَلْنَا ٱلْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَٰفِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ ٱللَّهُ مَن يَنصُرُهُۥ وَرُسُلَهُۥ بِٱلْغَيْبِ ۚ إِنَّ ٱللَّهَ قَوِىٌّ عَزِيزٌ ﴿٢٥﴾ ﴾ [سورة الحديد آية: ٢٥]

٦) ﴿ لَا يُقَٰتِلُونَكُمْ جَمِيعًا إِلَّا فِى قُرًى مُّحَصَّنَةٍ أَوْ مِن وَرَآءِ جُدُرٍۭ ۚ بَأْسُهُم بَيْنَهُمْ شَدِيدٌ ۚ تَحْسَبُهُمْ جَمِيعًا وَقُلُوبُهُمْ شَتَّىٰ ۚ ذَٰلِكَ بِأَنَّهُمْ قَوْمٌ لَّا يَعْقِلُونَ ﴿١٤﴾ ﴾ [سورة الحشر آية: ١٤]

١-٣ : معانى الألفاظ :-

جاء فى معنى " نزل " فى معجم ألفاظ القرآن الكريم [6] الآتى :-

١- بأس : البؤس والبأس والبأساء : الشدة والمكروه ، إلا أن البؤس فى الفقر والحرب أكثر ، والبأس والبأساء فى النكاية نحو " ۚ وَٱللَّهُ أَشَدُّ بَأْسًا وَأَشَدُّ تَنكِيلًا " [7]

٢- نزل : النزول فى الأصل هو انحطاط من علو ، يقال : نزل عن دابته . وإنزال الله تعالى نعمه ونقمه على الخلق وإعطاؤهم إياها ، وذلك إما بإنزال الشئ نفسه كإنزال القرآن و وإما بإنزال أسبابه والهداية إليه كإنزال الحديد واللباس ، ونحو ذلك .

١-٤ : تفسير النص فى التفاسير :-

١-٤-١) تفسير القرطبى [8] : جاء فى تفسير نص الآية الكريمة ما يلى :-

٣- قوله تعالى: "لقد أرسلنا رسلنا بالبينات" أي بالمعجزات البينة والشرائع الظاهرة. وقيل: الإخلاص لله تعالى في العبادة، وإقام الصلاة وإيتاء الزكاة، بذلك دعت الرسل: نوح فمن دونه إلى محمد صلى الله عليه وسلم. "وأنزلنا معهم الكتاب" أي الكتب، أي أوحينا إليهم خبر ما كان قبلهم "والميزان" قال ابن زيد: هو ما يوزن به ومتعامل "ليقوم الناس بالقسط" أي بالعدل في معاملاتهم. وقوله: "بالقسط" يدل على أنه أراد الميزان المعروف وقال قوم: أراد به العدل. قال القشيري: وإذا حملناه على الميزان المعروف، فالمعنى أنزلنا الكتاب ووضعنا الميزان فهو من باب: علفتها تبنا وماء باردا ، ويدل على هذا قوله تعالى: "والسماء رفعها ووضع الميزان" [الرحمن: ٧] ثم قال: "وأقيموا الوزن بالقسط" [الرحمن: ٩] وقد مضى القول فيه. "وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد" روى عمر رضي الله عنه أن رسول الله صلى الله عليه وسلم قال: (إن الله أنزل أربع بركات من السماء إلى الأرض: الحديد والنار والماء

[6] - الأصفهانى – الراغب – معجم مفردات ألفاظ القرآن – ص ٥٤٣ - دار الكتب العلمية – بيروت – لبنان – ١٩٩٧ م .
[7] - سورة النساء – الآية ٨٤ .
[8] - القرطبى : محمد بن أحمد الأنصارى - تفسير القرطبى – الجامع لأحكام القرآن – المجلد (١٧-١٨) -مكتبة الإيمان – المنصورة – مصر .

والملح)[٩]. وروى عكرمة عن ابن عباس قال: ثلاثة أشياء نزلت مع آدم عليه السلام: الحجر الأسود وكان أشد بياضا من الثلج، وعصا موسى وكانت من آس الجنة، طولها عشرة أذرع مع طول موسى، والحديد أنزل معه ثلاثة أشياء: السندان والكلبتان والميقعة وهي المطرقة، ذكره الماوردي. وقال الثعلبي: قال ابن عباس نزل آدم من الجنة ومعه من الحديد خمسة أشياء من آلة الحدادين: السندان، والكلبتان، والميقعة، والمطرقة، والإبرة. وحكاه القشيري قال: والميقعة ما يحدد به، يقال وقعت الحديدة أقعها أي حددتها. وفي الصحاح: والميقعة الموضع الذي يألفه البازي فيقع عليه، وخشبة القصار التي يدق عليها، والمطرقة والمسن الطويل. وروي أن الحديد أنزل في يوم الثلاثاء. " فيه بأس شديد" أي لإهراق الدماء. ولذلك نهى عن الفصد والحجامة في يوم الثلاثاء؛ لأنه يوم جرى فيه الدم. روي عن رسول الله صلى الله عليه وسلم أنه قال: (في يوم الثلاثاء ساعة لا يرقأ فيها الدم)[١٠]. وقيل: " أنزلنا الحديد" أي أنشأناه وخلقناه، كقوله تعالى: " وأنزل لكم من الأنعام ثمانية أزواج" [الزمر: ٦] وهذا قول الحسن. فيكون من الأرض غير منزل من السماء. وقال أهل المعاني: أي أخرج الحديد من المعادن وعلمهم صنعته بوحيه. "فيه بأس شديد" يعني السلاح والكراع والجنة. وقيل: أي فيه من خشية القتل خوف شديد. "ومنافع للناس" قال مجاهد: يعني جنة. وقيل: يعني انتفاع الناس بالماعون من الحديد، مثل السكين والفأس والإبرة ونحوه. "وليعلم الله من ينصره" أي أنزل الحديد ليعلم من ينصره. وقيل: هو عطف على قوله تعالى: "ليقوم الناس بالقسط" أي أرسلنا رسلنا وأنزلنا معهم الكتاب، وهذه الأشياء، ليتعامل الناس بالحق، "وليعلم الله من ينصره" وليرى الله من ينصر دينه وينصر رسله "ورسله بالغيب" قال ابن عباس: ينصرونهم لا يكذبونهم، ويؤمنون بهم "بالغيب" أي وهم لا يرونهم. "إن الله قوي" "قوي" في أخذه "عزيز" أي منيع غالب. وقد تقدم. وقيل: "بالغيب" بالإخلاص.

١-٤-٢) تفسير ابن كثير[١١] : - جاء فى تفسير الآية الكريمة ما يلى :-

يقول تعالى (لقد أرسلنا رسلنا بالبينات) أي بالمعجزات والحجج الباهرات والدلائل القاطعات (وأنزلنا معهم الكتاب) وهو النقل الصدق (والميزان) وهو العدل قاله مجاهد وقتادة وغيرهما وهو الحق الذي تشهد به العقول الصحيحة المستقيمة المخالفة للآراء السقيمة كما قال تعالى (أفمن كان على بينة من ربه ويتلوه شاهد منه) وقال تعالى (فطرة الله التي فطر الناس عليها) وقال تعالى (والسماء رفعها ووضع الميزان) ولهذا قال في هذه الآية (ليقوم الناس بالقسط) أي بالحق والعدل وهو اتباع الرسل فيما أخبروا به وطاعتهم فيما أمروا به فإن الذي جاءوا به هو الحق الذي ليس وراءه حق كما قال (وتمت كلمة ربك صدقا وعدلا) أي صدقا في الإخبار وعدلا في الأوامر والنواهي ولهذا يقول المؤمنون إذا تبوؤا غرف الجنات والمنازل العاليات والسرر المصفوفات (الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله لقد جاءت رسل ربنا بالحق) وقوله تعالى (وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد) أي وجعلنا الحديد رادعا لمن أبى الحق وعانده بعد قيام الحجة عليه ولهذا أقام رسول الله صلى الله عليه وسلم بمكة بعد النبوة ثلاث عشرة سنة توحي إليه السور المكية وكلها جدال مع المشركين وبيان وإيضاح للتوحيد وبينات ودلالات فلما قامت الحجة على من خالف شرع الله الهجرة وأمرهم بالقتال بالسيوف وضرب الرقاب والهام لمن خالف القرآن وكذب به وعانده وقد روى الإمام أحمد <٥٠/٢> وأبو داود <٤٠٣١> من حديث عبد الرحمن بن ثابت بن ثوبان عن حسان بن عطية عن أبي المهلب الجرشي الشامي عن ابن عمر قال قال رسول الله صلى الله عليه وسلم بعثت بالسيف بين يدي الساعة حتى يعبد الله وحده لا شريك له وجعل رزقي تحت ظل رمحي وجعل الذلة والصغار على من خالف أمري ومن تشبه بقوم فهو منهم ولهذا قال تعالى (فيه بأس شديد) يعني السلاح كالسيوف والحراب والسنان والنصال والدروع ونحوها (ومنافع للناس) أي في معايشهم كالسكة والفأس والقدوم والمنشار والأزميل والمجرفة والآلات التي يستعان بها في الحراثة والحياكة والطبخ والخبز وما لا قوام للناس بدونه وغير ذلك قال علباء بن أحمر عن عكرمة عن ابن عباس قال ثلاثة أشياء نزلت مع آدم السندان والكلبتان والميقعة يعني المطرقة رواه ابن جرير وابن أبي حاتم وقوله تعالى (وليعلم الله من ينصره ورسله بالغيب) أي من نيته في

---

9 - قال الحافظ ابن حجر فى " تخريج أحاديث الكشاف " (٤٨٠/٤) أخرجه الثعلبى من حديث ابن عمر ، وفى اسناده من لا أعرفه .

10 - موضوع : رواه ابن الجوزى فى " الموضوعات " (٢١٣/٣- ٢١٤) وفى سنده بكار بن عبدالعزيز ابن أبى بكره ، قال ابن معين : ليسى بشئ ، وقال العقيلى : ولا يتابع بكار على هذا الحديث .

11 - ابن كثير : الحافظ عماد الدين - تفسير القرآن العظيم – المجلد الرابع – دار المعرفة – بيروت – لبنان – ١٩٨٠ .

حمل السلاح نصرة الله ورسوله (إن الله قوي عزيز) أي هو قوي عزيز ينصر من نصره من غير احتياج منه إلى الناس وإنما شرع الجهاد ليبلو بعضكم ببعض .

١-٤-٣) تفسير فى ظلال القرآن[12] :- جاء فى تفسير الآية الكريمة ما يلى :-

﴿ وَأَنزَلْنَا ٱلْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَـٰفِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ ٱللَّهُ مَن يَنصُرُهُۥ وَرُسُلَهُۥ بِٱلْغَيْبِ ۚ ﴾[13]

قال : والتعبير (بأنزلنا الحديد) كالتعبير فى موضع آخر بقوله (وأنزل لكم من الأنعام ثمانية أزواج) ، كلاهما يشير إلى إرادة الله وتقديره فى خلق الأشياء والأحداث ، فهى منزلة بقدره وتقديره ، فوق ما فيه هنا من تناسق مع جو الآية ، وهو جو تنزيل الكتاب والميزان ، فكذلك ما خلقه الله من شئ مقدر تقدير كتابه وميزانه . أنزل الله الحديد (فيه بأس شديد) وهو قوة فى الحرب والسلم (ومنافع للناس) وتكاد حضارة البشر القائمة الآن تقوم على الحديد .

١-٥ : التفسير العلمى للنص الكريم :-

إتفقت العديد من الدراسات المنشورة للأستاذ الدكتور زغلول النجار[14] ، وفى موقعه[15] على شبكة المعلومات الدولية (الإنترنت) ، وفى موقع الإعجاز العلمى للقرآن والسنة[16] ، وكذلك دراسة أ. د. ممدوح عبدالغفور حسن (إنزال الحديد من السماء)[17] ، كذلك دراسة د. محمد صالح النوواى (حياة النجوم بين العلم والقرآن الكريم)[18] ، مع الحقائق العلمية التالية التى سوف نحاول إيضاحها بشئ من التفصيل فى تلك الظاهرة الرائعة من التوافق بين ألفاظ القرآن الكريم والعلم الحديث .

٢: معجزة البأس الشديد :-

يرجع إنزال الحديد إلى سبب إنزاله وهو أنه ذا بأس شديد ، ونستطيع أن نستوضح ذلك من التفاعلات النووية .

٢-١) التفاعلات النووية[19]

التفاعلات النووية يمكن أن تنتج الطاقة بطريقتين ، الإندماج النووى (Fusion) للأنوية الخفيفة ، أو الإنشطار النووى (Fission) للأنوية الثقيلة ، وما يحدث فى النجوم لتوليد الطاقة النووية هى التفاعلات الأولى (تفاعلات الإندماج النووى) ، وهناك عدد من هذه التفاعلات تتم داخل النجوم ، وذلك حسب كتلة النجم ، ودرجة حرارته ، ومنها :-

---

12 - قطب : سيد – فى ظلال القرآن – دار الشروق – المجلد ٦ – بيروت – القاهرة – ١٩٨٧ .
13 - سورة الحديد – الآية ٢٥ .
14 - النجار : د. زغلول – من آيات الإعجاز العلمى فى القرآن – مكتبة الشروق – القاهرة- مصر – ٢٠٠١ م .

15 - www.elnaggarzr.com
16 - www.55a.net

17 -www.55a.net

18 - www.55a.net

19 - http://cassfos02.ucsd.edu/public/tutorial/Nukes.html

٢-١-١) سلسلة البروتون – بروتون :-

إن سلسلة البروتون – بروتون هى التفاعل الأساسى فى النجوم الصغيرة الكتلة (التى لها كتلة فى مثل كتلة الشمس) لتحويل الهيدروجين إلى هيليوم ، وذلك يتم على النحو التالى :-

١- يتم إندماج نواتى هيدروجين لتكوين نواة ديوتيريوم ، وبوزيترون (e^+) ، و نيوترينو كالتالى :

$H^1 + H^1 \longrightarrow H^2 + e^+ +$ نيوترينو

٢- إن هذا التفاعل النووى يحتاج إلى توفر درجة حرارة أقل من مليون درجة مطلقة (K) .

٣- فى باطن النجوم ، حيث درجة التأين العالية(نتيجة لدرجات الحرارة الشديدة) فإن البوزيترون (الموجب) الناتج يتلاقى مباشرة مع إلكترون (سالب) ويتلاشيا معا ، ويتحولا إلى أشعة جاما كالتالى :-

$^-e + e^+ \longrightarrow$ 2 gamma -rays

٣- وأشعة جاما الأخيرة تمتص بواسطة المادة المركزة بباطن النجم ، ثم يُعاد إطلاقها ، وتدريجيا تتحول إلى فوتونات ضوئية منخفضة الطاقة .

٤- وعندما تصل أشعة جاما إلى الطبقة الضوئية الخارجية من النجم (Photosphere) ، فإن كل شعاع من أشعة جاما يتحول إلى ٢٠٠ ألف فوتون مرئى .

٥- ثم يحدث إندماج أنوية الديوتيريوم مع بروتون (نواة هيدروجين) لإنتاج نظير الهيليوم

$H^2 + H^1 \longrightarrow He^3 +$ 2 gamma -rays

٦- عندما يتم إندماج عدد (٢) نواة ديوتيريوم ، مع (٢) بروتون ، ويتكون (٢) نواة نظير الهيليوم ، فإن إندماج (٢) نواة نظير الهليوم يؤدى إلى إنتاج الهليوم كالتالى :

$He^3 + He^3 \longrightarrow He^4 + 2\ H^1$

٧- هذا التفاعل الأخير يحتاج إلى توفر درجة حرارة عالية جدا فى باطن النجم تصل إلى أكثر من ١٠ مليون درجة مطلقة (K) .

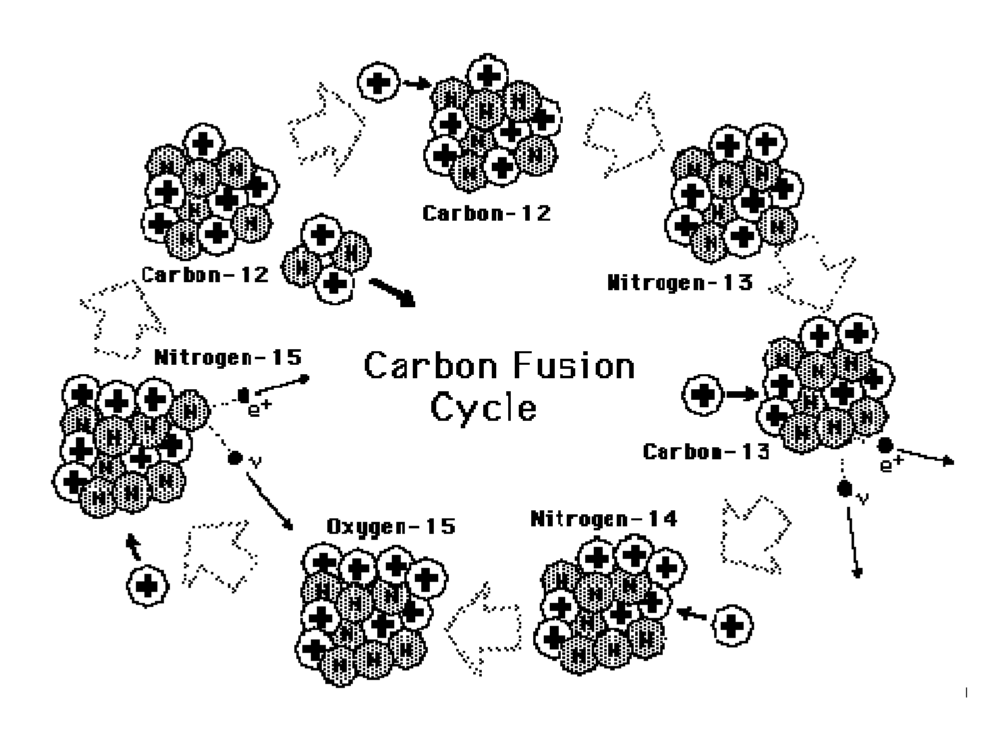
٨- فى الشمس ، فإن تحويل الهيدروجين إلى الهيليوم(بالتفاعلات الموضحة أعلاه) تحدث بمعدل تحويل ٦٠٠ مليون طن من الهيدروجين كل ثانية إلى ٥٩٦ مليون طن هيليوم ، وبذلك فإن كمية هائلة من الطاقة تتولد نتيجة تحويل ٤ مليون طن من الكتلة إلى طاقة كل ثانية طبقا لمعادلة إينشتين (E = mc^2) (حيث (E) = الطاقة ، و (m) = الكتلة ، و (c) = سرعة الضوء (٣٠٠ ألف كم / ث)) ، هذه الكتلة تتحول إلى طاقة إضاءة تساوى ٣,٨٥٤ X١٠ ^٣٣^ إرج/ ث (= ٣,٨٥٤ X١٠ ^٣٣^ كيلو وات) .

٢-١-٢) سلسلة دورة الكربون (CNO cycle) :-

فى النجوم الأثقل من الشمس (> ١,٢ كتلة الشمس) ، فإن تفاعلات إنتاج الطاقة لا تتم بتفاعلات بروتون – بروتون سابقة الذكر ، ولكن بطريقة تفاعلات دورة الكربون ، ولكى يتم إندماج نواة كربون (٦بروتون + ٦ نيوترون) مع بروتون جديد ، فإن ذلك يتطلب درجات حرارة عالية جدا (أعلى من تلك التى فى النجوم المماثلة للشمس) وهى أعلى من ١٧ مليون درجة مطلقة (K) .

دورة الكربون – نيتروجين -أكسجين (CNO) [٢٠]

[20] - http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/energy/cno.html



شكل (١) : شكل توضيحى لتفاعل دورة الكربون[٢١]

ويمكن توضيح دورة الكربون – نيتروجين – أوكسجين السابقة الذكر بالتفصيل فيما يلى ، وكما هو موضح فى شكل (١) .

تتضمن الدورة التفاعلات النووية التالية :

هذه الدورة هى التى حصل بها هانز بث (Hans Bethe) عام ١٩٦٧ على جائزة نوبل فى بحثه الشهير عن تفاعلات دورة الكربون النووية فى النجوم ، وهى التى يمكن تلخيصها فى التالى (كما هو موضح فى الشكلين السابقين) :-

١- كربون-١٢ يقتنص بروتون ويكون نيتروجين- ١٣ ، ويطلق أشعة جاما .
٢- نيتروجين- ١٣ يمر بتحلل بيتا ويكون كربون- ١٣ (فترة نصف العمر له ١٠ دقائق) .
٣- كربون- ١٣ يقتنص بروتون ويكون نيتروجين- ١٤ ويطلق أشعة جاما .
٤- نيتروجين-١٤ يقتنص بروتون آخر ويكون أكسجين- ١٥ ويطلق أشعة جاما .
٥- أوكسجين- ١٥ يمر بتحلل – بيتا ويكون نيتروجين- ١٥.
٦- نيتروجين- ١٥ يقتنص بروتون ويعود إلى كربون -١٢ ويطلق جسيم ألفا (نواة الهيليوم) .
٧- وهكذا تستمر الدورة .

٢-١-٣) تفاعلات طريقة ألفا- الثلاثية (The Triple- alpha process) :-

[21] - http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/carbcyc.html#c1

فى كلا من النجوم ذات الوزن المماثل للنظام الشمسى أو الأثقل وزنا فإنه بعد حرق الهيدروجين وتحويله الى هيليوم ، فإن الهيليوم يبدأ فى تفاعل إندماج نووى (لثلاث أنوية هيليوم) فى تكوين الكربون (C^{12}) .

$$He^4 + He^4 + He^4 \longrightarrow C^{12}$$

هذا التفاعل يتطلب درجة حرارة عالية جدا أكثر من ١٠٠ مليون درجة مطلقة وكذلك كثافة عاليه جدا لا تظهر إلا بعد أن يحرق النجم كل مادته من الهيدروجين ، وعندما يصبح لب النجم كله تقريبا من الهيليوم (كما فى low mass white dwarfs) .

٢-١-٤)- تفاعلات نوويه متقدمة :-

بعد تفاعلات ألفا الثلاثية ،هناك عدد من التفاعلات النووية تحدث تبعا لكتلة النجم

هناك ٣ مبادئ تحكم التفاعلات التالية :

١- نجاح مراحل الإحتراق النووى لأنوية أثقل ولها شحنات عاليه ، فإن هذا يتطلب درجات حرارة عاليه جدا للسيطرة على قوى التنافر الكهربى .

٢- تناقص كمية الطاقة المنطلقة من كل مرحلة تفاعل نووى ، وبذلك فإن التفاعلات الأخيرة تكون سريعة جدا .

٣- عندما يصل التفاعل الإندماجى الى إندماج لب النجم الحديدى فإن أى تفاعلات إندماج تاليه لا تنتج أى طاقه ولكنها تمتص الطاقة endothermic من لب النجم وهذا سوف يكون له تأثير تدميرى على النجم حيث تقرب نهايته (كما سوف نوضح فيما بعد) .

تحت هذه الظروف ، وفى نجوم فى كتله الشمس ، فإن التفاعلات التالية يمكن أن تحدث :-

١- الكربون الناتج من تفاعلات ألفا الثلاثية (السابقة الذكر) يمكن أن يتفاعل مع أنوية ألفا أخرى لإنتاج الأكسجين (O^{16}) .

$$C^{12} + He^4 \longrightarrow O^{16} + \text{أشعة جاما}$$

٢- ويمكن للأخير أن يدخل فى تفاعل إنتاج النيون ، ولكن وجود قوى التنافر الكهربى تجعل هذه التفاعلات صعبة الحدوث لإنتاج أنوية عناصر أثقل من النيون (Ne^{20}) .

$$O^{16} + He^4 \longrightarrow Ne^{20} + \text{أشعة جاما}$$

٣- فى النظم النجمية الأكثر كتلة ومع درجات حرارة تزيد عن ٥٠٠ مليون (K)، يمكن أن يحدث إحتراق نووى للكربون ، ويمكن أن ينتج مثلا الماغنسيوم (Mg^{24}) .

$$C^{12} + C^{12} \longrightarrow Mg^{24} + \text{أشعة جاما}$$

٤- وفى أنظمة نجمية أكثر كتلة ومع درجات حرارة أعلى من ١ بليون (K) ، يمكن أن يحدث إحتراق نووى للأكسجين منتجا الكبريت (S^{32}) أو المنجنيز أو السليكون أو الفسفور.

$$O^{16} + O^{16} \longrightarrow S^{32} + \text{أشعة جاما}$$

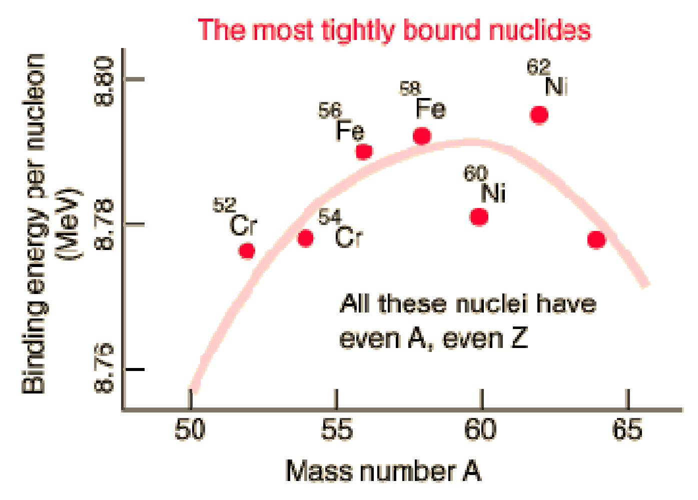
٥- أخيرا فى نظم نجمية أكبر كتلة ، ودرجات حرارة تزيد عن ٣ بليون (K) يمكن أن يحدث إحتراق نووى للسيليكون فى سلسلة من التفاعلات يمكن أن ينتج الحديد ٥٦ (العنصر الذى له أقوى قوة ربط نووية).

٢-٢) أنوية العناصر الأكثر تماسكا[٢٢]

إن أكثر أنوية العناصر جميعا ترابطا هى نواة ذرة النيكل- ٦٢[٢٣] ، ومع ذلك فإن مراجع الفيزياء الفلكية (موضوع البحث) تذكر الحديد – ٥٦ على أن له أقوى قوة ربط نووية ، فى حين أنه ثالث العناصر ترتيبا حيث يسبقه أيضا نظيره الحديد – ٥٨ ، والسبب فى ذلك سوف نذكره فى التعليق على الجدول والشكل التالى .

جدول (١) : قوى الربط النووية لأكثر العناصر تماسكا فى الطبيعة .

م	النواة	الوزن الذرى	العدد الذرى	قوة الربط النووية (مليون إلكترون فولت)
١	نيكل-٦٢	٦٢	٢٨	٨,٧٩٤٦
٢	حديد-٥٨	٥٨	٢٦	٨,٧٩٢٢٣
٣	حديد-٥٦	٥٦	٢٦	٨,٧٩٠٣٦
٤	نيكل-٦٠	٦٠	٢٨	٨,٧٨٠٧٩



شكل (٢) : منحنى قوى الربط النووية لبعض العناصر .

ومن الشكل (٢) يمكن أن نلاحظ الآتى :-

١- أن أقوى الأنوية قوى ربط نووية هى الأنوية ذات العدد الكتلى الزوجى(٦٢ ، ٦٠ ، ٥٨، ٥٦) ، والعدد الذرى الزوجى أيضا .
٢- ويلى ذلك العناصر ذات الأنوية ذات العدد الكتلى الزوجى ، والعدد الذرى الفردى .
٣- ثم العناصر ذات العدد الكتلى الفردى ، والعدد الذرى الفردى أيضا .
٤- على أن قمة المنحنى لمجموعات العناصر الثلاثة السابقة تكون حول العدد الكتلى ٦٠ .
٥- ومجموعة العناصر التى فى قمة المنحنى (الحديد والنيكل) يسميها علماء الفيزياء الفلكية " مجموعة الحديد " **(The Iron Group)** ، وذلك بسبب الدور الهام الذى يلعبه عنصر الحديد فى عملية التخليق النووى للعناصر فى النجوم **Stellar Elements Nucleosynthesis** .
٦- وفى هذا الإتجاه فإن أهمية الحديد-٥٦ تكون أعلى من النيكل-٦٢ ، وذلك بسبب معدل التحطم الضوئى **(Photodisintegration)** المرتفع جدا لنواة النيكل – ٦٢ مقارنة بالحديد -٥٦ فى لب النجوم .

---

22 - www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin2.html#c1.
23 - Fewell, M.P.(1995) : The Atomic Nuclide with the Highest Mean Binding Energy . Am. J. Phys. 63, July 1995 .

٢-٣) طاقة الربط النووية[24]
Binding Energy

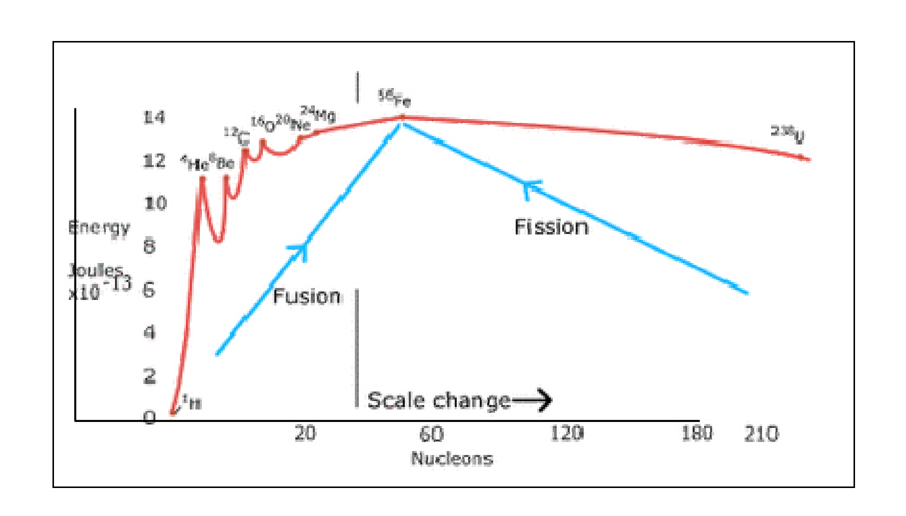
المكونات الأساسية للذرة هى البروتونات و النيوترونات و الإلكترونات .
البروتونات و النيوترونات يمكن أن تتجزأ إلى كواركات Quarks .
ولكن هذا يمكن أن يحدث عند طاقات عالية جدا أعلى من تلك التى تتوفر فى النجوم . البروتونات ذات الشحنة الموجبة و النيوترونات المتعادلة يستقرا معا فى نواة الذرة وعلى درجة حرارة الغرفة يكون بالذرة عدد من الإلكترونات السالبة الشحنة مساويا تماما لعدد البروتونات الموجبة الشحنة فى نواة الذرة ، وهذا ما يجعل الذرة متعادلة كهربيا . الإلكترونات هى التى تحدد الصفات الفيزيقية و الكيميائية للعناصر المختلفة كما نعرفها على الأرض .
ذرة الهيدروجين لها بروتون واحد فى النواة ، ويدور حولها إلكترون واحد فى مدار ، بينما ذرة الحديد -٥٦ تحتوى ٢٦ إلكترونا تدور حول النواة التى تحتوى ٢٦ بروتونا بالإضافة إلى ٣٠ نيوترون . إن عدد البروتونات فى نواة ذرة العنصر هو العامل المحدد لهوية identity أو نوعية أو تماثل العنصر ، و لذلك فلكل عنصر عدد من النظائر كلها تتساوى فى عدد البروتونات فى نواة الذرة و لكنها تختلف فقط فى عدد النيوترونات ، وهذه النظائر يكون منها الثابتة و منها المشعة .
فعلى سبيل المثال الحديد له ثلاثة نظائر ثابتة هى الحديد -٥٤ ، الحديد – ٥٦ ، و الحديد – ٥٧ ، وهى التى تحتوى جميعا على عدد ٢٦ بروتونا بالإضافة إلى عدد ٢٨، ٣٠ ، ٣١ نيوترون على التوالى .
النيوترونات و البروتونات تتماسك معا فى نواة الذرة بواسطة نوع من القوى يسمى القوى القوية The strong force .
وهذه القوى هى التى تعمل على مسافات صغيرة جدا و يمكنها التغلب على قوى التنافر الكهروستاتيكية بين البروتونات .
أكثر أنوية الذرات ثباتا هى تلك المجاورة للحديد فى الجدول الدورى للعناصر ، وهى ذرات :- المنجنيز- ٥٥ ، الحديد ٥٦، الكوبلت ٥٧، النيكل ٥٨، النحاس ٥٩، والزنك ٦٠ و نظائرها .
قوة الربط النووية للعناصر تقاس بقوة الربط النووية للنيوكلون (مجموع عدد البروتونات و النيوترونات) ، وهو ما يسمى أحيانا بنقص الكتلة للنيوكلون (Mass defect per nucleon) ، و هو ما يعكس الحقيقة العلمية القائلة بأن الوزن الذرى لنواة أى عنصر هى أقل من مجموع الأوزان الذرية لمكونات تلك النواة (من البروتينات و النيترونات) ، والفرق بينهما (بين الكتلتين mass defect) يساوى الطاقة الناتجة عند تكوين النواة .

٢-٤) حساب طاقة الربط النووية[25]

وهنا يجدر بنا أن نقدم المثال التالى لحساب طاقة الربط النووية (فقد الكتلة) فى نواة الهيليوم :-
١- نواة الهيليوم تحتوى عدد (٢) بروتون ، وعدد (٢) نيوترون .
٢- كتلة البروتون =١,٠٠٧٢٨ وحدة كتلة نووية (Amu)
٣- كتلة النيوترون =١,٠٠٨٦٦ وحدة كتلة نووية (Amu)
٤- إذن كتلة البروتونات = ٢ * ١,٠٠٧٢٨

24 - http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.731/outputRegister/html
25 - http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin.html

= ٢,٠١٤٥٦ وحدة كتلة نووية (Amu)
٥- وكتلة النيوترونات = ١,٠٠٨٦٦*٢
= ٢,٠١٧٣٢ وحدة كتلة نووية (Amu)
٦- مجموع الكتل لنواة الهيليوم = ٤,٠٣١٨٨ وحدة كتلة نووية (Amu)
٧- كتلة نواة الهيليوم = ٤,٠٠١٥٣ وحدة كتلة نووية (Amu)
٨- فرق الكتلة = ٠,٠٣٠٤ وحدة كتلة نووية (Amu)
٩- وحدة الكتلة النووية = ١,٦٦٠٥٤ * ١٠ ^-٢٧ مليون إلكترون فولت (MeV) .
= ٩٣١,٤٩٤ مليون إلكترون فولت (MeV) .
١٠- إذن قوة الربط النووية لنواة الهيليوم = ٠,٠٣٠٤ * ٩٣١,٤٩٤
= ٢٨,٣ مليون إلكترون فولت (MeV) .



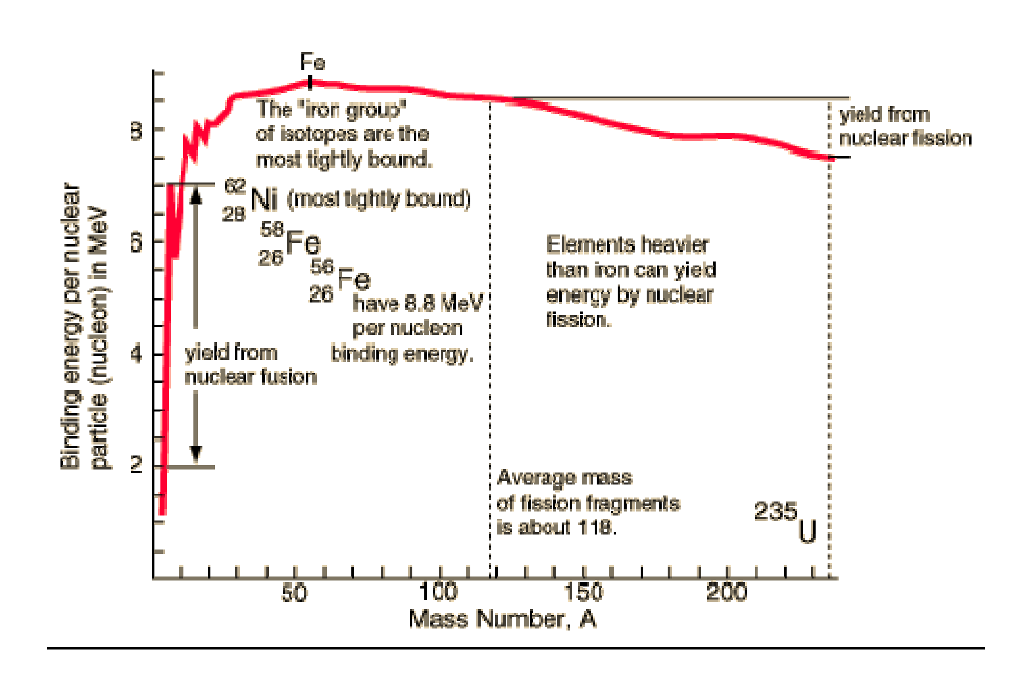
شكل (٣) : يوضح طاقة الربط النووية للنيوكلون .

الشكل رقم (٣) يوضح طاقة الربط النووية المقابلة لعدد النيوكلونات بنواة كل ذرة ، التناقص فى طاقة الربط النووية بعد الحديد ، يرجع الى الحقيقة العلمية القائلة بإنه كلما كبرت نواة الذرة ، كلما ضعفت قدرة القوى القوية (strong force) فى مقاومة قوة التنافر الكهروستاتيكية بين بروتونات النواة . قمم الإنحناء (peaks) لطاقة الربط النووية عند ٤ ، ٨، ١٦ ، ٢٤ وحدة نووية (نيوكلونات) هى نتيجة للثبات الكبير للهيليوم و البريليوم ، و الأكسجين ، و الماغنسيوم ذات العدد الزوجي من البروتونات و النيترونات على التوالي .
أقصى طاقة ربط نووية / للنيوكلون للحديد تعنى أن العناصر الأخف من الحديد تنتج طاقة عند دخولها تفاعل إندماج نووى ، و هذا هو المصدر للطاقة في النجوم و القنابل الهيدروجينية (Hydrogen bombs). واضح من الشكل أن أكبر كمية من الطاقة تنتج من إندماج الهيدروجين لتكوين الهيليوم .
العناصر الأثقل من الحديد فقط تنتج الطاقة النووية فى تفاعلات الإنشطار النووى FISSION مثال ذلك اليورانيوم -٩٢ و البلوتونيوم- ٩٤ و اللذين استخدما في القنابل النووية الأولى .
العناصر الأثقل من الحديد تصنع في النجوم عن طريق قنص CAPTURING نيوترونات الى نواة الذرة ، وهذا يحدث عادة فى النجوم الكبيرة الكتلة من نوع العماليق الحمر(Red Giants) ، و كذلك في إنفجارات المستسعرات (Supernova) . عندما تقنص نواة ذرية نيوترون فإن

نظيرا جديدا للعنصر يتكون ، فإن هذا النظير غير ثابت UNSTABLE ، فإن هذا النيترون يمكن أن يتحول إلى بروتون مع إطلاق إلكترون ، وهذا النوع من التفاعلات يسمى تحلل بيتا (BETA – DECAY) وهذا نوع من أنواع الإشعاعات الموجودة علي الأرض .
عندما يتحول نيوترون الى بروتون ، فإن الذرة يزداد عددها الذرى بوحدة ذرية واحدة ويتحول العنصر الي العنصر الذى يليه في الجدول الدوري للعناصر ، و ربما أن الأخير يقتنص نيوترونا جديدا وهكذا يتحول الي العنصر الآخر الذي يليه .... وهكذا فإنه باستخدام نواة الحديد ، و بقنص نيوترون بإستمرار فإنه يمكن إنتاج العناصر الأثقل من الحديد في الجدول الدوري .
الفرق بين تخليق العناصر فى النجوم من نوع العماليق الحمر و المستعرات هو إنه في حاله السوبرنوفا فإن تيار FLUX النيوترونات يكون شديد جدا و بالتالي فإنه من اليسير للذرات أن تقتنص نيوترونا و ثاني وثالث ، و هكذا قبل أن تدخل فى تحلل بيتا وهذا بالتالي يؤدى الى تكون عناصر مختلفة عن تلك التي يمكن أن تتكون في حالة النجوم من نوع العماليق الحمر حيث أن تيار النيترونات يكون أقل شدة .

الإندماج والإنشطار النووى وإنتاج الطاقة[26]

Fission and fusion can yield energy



شكل (٤) : منحنى طلقة الربط النووية وإنتاج الطاقة النووية .

الشكل (٤) يوضح أن كلا من تفاعلى الإندماج والإنشطار النووى هى تفاعلات منتجة للطاقة ، ولكن الطاقة الناتجة من الإندماج النووى طبقا للشكل المرفق فهى فى حدود من ٢ – ٧ مليون إلكترون فولت بينما الطاقة الناتجة من تفاعلات الإنشطار النووى تكون فى حدود ٨- ٩ مليون إلكترون فولت ، فى حين أن طاقة الربط النووى للحديد – ٥٦ هو ٨و٨ مليون إلكترون فولت (تقريبا) وهى أعلى طاقة ربط نووية للنوية (النيوكلون) ، كما سوف نوضح .

[26] - - http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin.html

٢-٤-١) منحنى طاقة الربط النووية

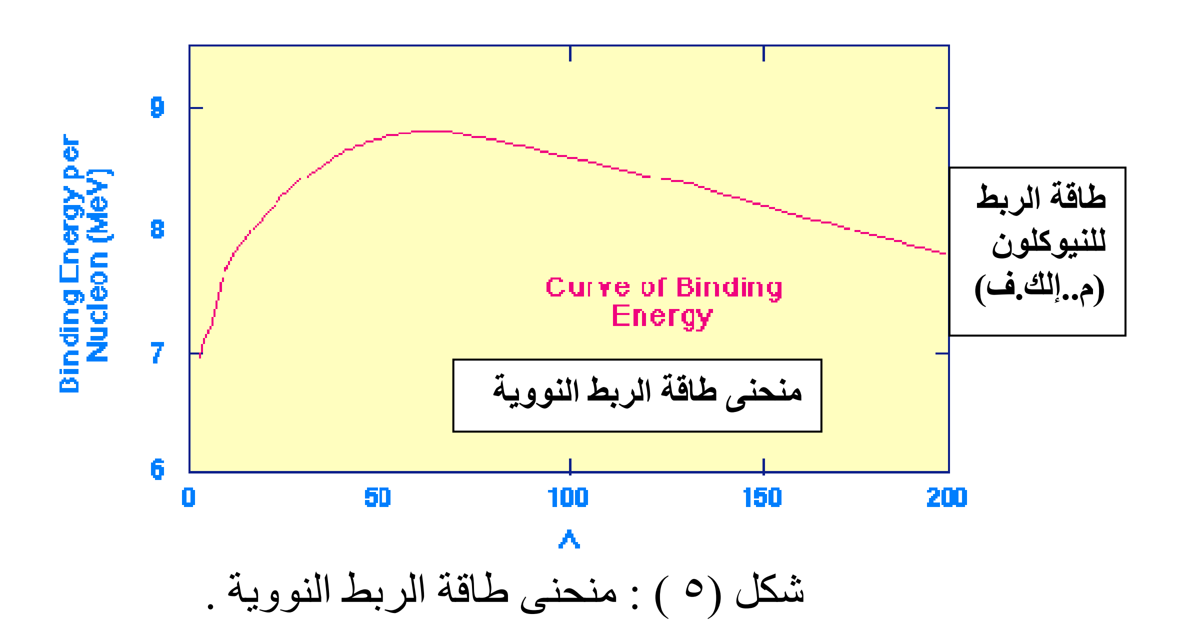
يمكن الحصول على منحنى طاقة الربط النووية للعناصر بقسمة طاقة الربط النووية الكلية للذرة على عدد النويات (نيوكلونات) بالنواة . الحقيقة التى تتضح من وجود قمة لمنحنى طاقة الربط النووية فى منطقة الثبات قرب الحديد تعنى أن كلا من إنشطار (Fission) الأنوية الثقيلة أو إندماج (fusion) الأنوية الخفيفة سوف يؤدى إلى إنتاج أنوية أكثر ترابطا وبالتالى لها كتلة أقل للنيوكلون الواحد . طاقة الربط النووية للنويات تكون فى مدى من المليون إلكترون فولت (MeV) مقارنة بكمية عشر (١٠/١) إلكترون فولت (eV) للإلكترونات ، حيث أن إنتقال الإلكترون من مستوى طاقة الى مستوى طاقة أقل يؤدى الى إنطلاق فوتون له طاقة فى مدى بضع إلكترون فولت (فى المدى المرئى) .

٢ـ ٥) حد الحديد

Iron Limit

إن بناء العناصر الثقيلة فى تفاعلات الإندماج النووى فى النجوم يكون محدودا بما يسمى حد الحديد (Iron limit) أى إنه يحدث فقط فى تكوين العناصر الأقل من الحديد ، وذلك لإن إندماج الحديد يؤدى الى استهلاك الطاقة بدلا من إمدادها ، ولذلك فإن الحديد – ٥٦ هو العنصر الأكثر تواجدا (السائد) فى التفاعلات النووية النجمية حيث له طاقة ربط نووية للنوية تساوى ٨,٨ مليون إلكترون فولت ، وهى ثالث طاقة ربط نووية بعد النيكل – ٦٢ ، الحديد – ٥٨ .

٢-٥-١) منحنى طاقة الربط النووية[27]



شكل (٥) : منحنى طاقة الربط النووية .

---

27 - http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/energy/bindingE.html

يوضح الشكل (٧) منحنى طاقة الربط النووية والذى يظهر كمية طاقة الربط النووية للنوية (المكون من مكونات النواة سواء بروتونات أو نيوترونات – وعدد النويات فى النواة (نيوكلونات nucleons)
يساوى مجموع عدد البروتونات و النيوترونات ، و عدد النويات بذرة العنصر يساوى عدد الكتلة للعنصر .
تقاس طاقة الربط النووية بالميجا (مليون) إلكترون فولت (MeV) وهى الوحدة القياسية للطاقة فى الفيزياء النووية .
هذا الشكل يحدد مدى ثبات أنوية (جمع نواة) العناصر ، فكلما زاد ارتفاع المنحنى ، كلما زاد ثبات نواة العنصر ، و المنحنى له قمة عند العدد الذرى ٦٠ وهى للعناصر المحيطة بالحديد فى الجدول الدورى للعناصر ، ولذلك تسمى هذه القمة بقمة أنوية الحديد (منجنيز -٥٥ ، حديد -٥٦، كوبلت-٥٩، نيكل -٦٠ ، نحاس -٦٤) وهى أشد أنوية العناصر تماسكا (ثباتا) فى الكون .
هذا المنحنى يوضح طريقتين مختلفتين لتحويل الكتلة إلى طاقة .

(٢-٥-٢) الطريقة الأولى :- تفاعلات الإنشطار النووى (Fission Reactions)
من منحنى طاقة الربط النووية يتضح أن العناصر ذات الأنوية الثقيلة تكون أقل ثباتا من العناصر التى لها أنوية عند قمة المنحنى حول العدد الكتلى (٦٠) فالطاقة يمكن أن تنطلق عندما تنشطر نواة ذرة ثقيلة إلى نواة قريبة من العدد الكتلى (٦٠) هذه الطريقة تسمى الإنشطار النووى (Fission Reactions) وهى الطريقة التى تستخدم لإنتاج القنابل النووية (nuclear bombs) وفى المفاعلات النووية (nuclear reactors) .

(٢-٥-٣) الطريقة الثانية :- تفاعلات الإندماج النووى (Fussion Reactions)
هذه هى الطريقة الثانية التى يمكن بها إنتاج الطاقة النووية . فالعناصر ذات الأنوية الخفيفة مثل الهيدروجين و الهيليوم فإن أنويتها تكون أيضا أقل ثباتا من العناصر حول قمة الحديد (ذات العدد الكتلى -٦٠) . هكذا فإن إندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل يؤدى أيضا إلى إنطلاق الطاقة النووية هذه الطريقة من التفاعلات تسمى تفاعلات الإندماج النووى (Fussion Reactions) وهى الطريقة التى تنتج بها القنابل الهيدروجينية (hydrogen bombs) و التى تعمل بها مفاعلات الإندماج النووى (fusion energy reactors) .
فى كلا الطريقتين (الإنشطار و الإندماج النووى) فان الكتلة الكلية بعد التفاعل تكون أقل منها قبل التفاعل ، و هكذا ينتج لدينا ما يسمى فى الفيزياء النووية (نقص الكتلة - the missing mass) وهو يساوى تماما كمية الطاقة النووية المنتجة فى كلا من التفاعلين ، وهى كمية الطاقة المحسوبة من معادلة إنشتين الشهيرة لتحويل الكتلة إلى الطاقة ($E = m c^2$) .

٢-٥-٤)علاقة منحنى طاقة الربط النووية بطاقة النجوم :-

كما هو واضح من معادلة إنشتين السابقة الذكر ، فإنه فى كلا من تفاعلى الإنشطار أو الإندماج النووى فان كمية قليلة من الكتلة ينتج عنها كمية هائلة من الطاقة ، وهذه الأخيرة هى السبب الوحيد للإنتاج الطاقة الهائلة فى النجوم . فالنجوم تتكون من عناصر خفيفة معظمها الهيدروجين (٩٠%) و الهيليوم (١٠%) و لذلك فان تفاعلات الإنشطار النووى (fission) لا تحدث فى النجوم فقد سبق أن أوضحنا أن تفاعل الإنشطار النووى يحدث للعناصر ذات الأنوية الثقيلة (بعد عنصر الحديد فى الجدول الدورى للعناصر) ولكن التفاعل النووى الوحيد المنتج للطاقة الهائلة فى النجوم هو تفاعل من النوع الثانى (تفاعل الإندماج النووى) حيث أنه التفاعل الذى يحدث لأنوية العناصر الخفيفة و حيث أن النجوم تتكون أساسا من أخف العناصر جميعا ألا وهما الهيدروجين و الهيليوم ، فإن تفاعلات الإندماج النووى هى تفاعلات إنتاج الطاقة فى حياة النجوم .
إن تفاعلات الإندماج النووى لا تحدث إلا تحت ظروف بيئية للتفاعل معينة ، لا تتوفر هذه الظروف إلا فى قلب (لب) النجوم و هذه الظروف تحتاج إلى توفر درجات حرارة هائلة لإحداث التفاعل تقاس هذه الحرارة بملايين الدرجات المئوية .

هكذا فان أساس إنتاج الطاقة و العناصر الأثقل من الهيليوم فى الكون هى تفاعلات الإندماج النووى فى النجوم حتى يتكون الحديد- ٥٦ فى لب النجوم فتحدث ظاهرة السوبرنوفا التى سوف نتعرض لها فيما بعد .

٣) التخليق النووى للعناصر[٢٨]

التخليق النووى للعناصر يُعنى إنتاج عناصر كيمائية جديدة داخل النجوم .
وهى تحدث نتيجة تفاعلات نووية عديدة تحدث فى النجوم منها:-
تفاعلات القبض على النيوترونات - neutron capture process - والتى يسمى r- process .
تفاعلات القبض على البروتونات - proton capture process – والتى يسمى rp- process .
تفاعلات التحلل الضوئى – photo disintegration process – والتى يسمى p- process (Gamma Process) ، وأحد أهم الأجرام السماوية التى يحدث فيها التخليق النووى للعناصر هى المستعرات المتجددة (Supernova) .

٣-١) المستعرات المتجددة Supernova

وهى إنفجار كتلى لنجم يحدث نتيجة لأحد الإحتمالين التاليين :-
الأول : نجم من نوع القزم الأبيض (White dwarf) ، ويكون عضوا فى نظام ثنائى (Binary) ، و يدخل مرحلة إنفجار نووى بعد أن يصل إلى حد شاندراسكير (Chandrasekhar) ، وذلك نتيجة إمتصاص كتلى من العضو الآخر فى النظام الثنائى (عادة ما يكون من نوع العملاق الأحمر Red giant) .
الثانى : أ- وهى الأكثر شيوعا ، فى حالة أن نجم ذا كتلة ضخمة (عملاق أحمر) يصل الى حد الحديد فى الإندماج النووى .
ب- الحديد له واحدة من أعلى قوى الإرتباط النووى لجميع العناصر الكيميائية وهو العنصر الأخير الذى يمكن إنتاجه بواسطة اندماج نووى (طارد للحرارة exothermically) .
ج- كل تفاعلات الإندماج النووى (بعد الحديد) تكون ممتصة للحرارة (endothermically) .
د- وهكذا (بعد تكون الحديد) يفقد النجم طاقته (وبالتالى يفقد القوة المضادة لقوى الجاذبية المركزية).
هـ- وفى هذه الحالة فإن قوى الجاذبية فى النجم تعمل بسرعة عالية للغاية .
و- ولذلك ينهار النجم بسرعة وينفجر .
١- (فى هذه الحالة الأخيرة فإن طاقة النجم الكلية يتم إمتصاصها فى تكوين الحديد وبالتالى ينفجر) حيث أخر عنصر يتكون فى هذه الحالة هو قلب من الحديد ثم يحدث انفجار المستعمر العظيم supernova . منتجا باقى العناصر الكيميائية والمركبات .. الخ أثناء الإنفجار الهائل .
٢- مثل هذه الحالة التى تتكون فيها العناصر والمركبات حدثت أثناء الإنفجار العظيم big bang وتكونت مادة الكون الأول .
٣- ولكن انفجار المستسعرات الأعظم الآن هى عملية إنتاج مستمرة لمادة كون جديدة .

٣-٢) اندماج العناصر:
نتيجة انطلاق كمية كبيرة من الطاقة أثناء حدوث السوبرنوفا ، فإن درجة الحرارة تصل الى درجات عالية جدا أكبر منها فى النجوم .
درجات الحرارة العالية هذه تسمح بتكون العناصر التى لها وزن ذرى حتى ٢٥٤ (العنصر المعروف باسم كاليفورنيوم يكون آخر عنصر يتكون) .
ولذلك هذا العنصر مثلا(كاليفورنيوم) يوجد مصنعا فقط على الأرض (هذا يعنى فى درجات حرارة أعلى من درجات حرارة النجوم) .

28- http://en.wikipedia.org/wiki/Supernova_nucleosynthesis#Supernovae

فى تفاعلات الإندماج النووى فى النجوم ، الحد الأقصى للعناصر التى يمكن أن يحدث لها إندماج نووى هو عنصر الحديد والذى له وزن ذرى ٥٥,٨٤٥ .
إن تفاعلات الإندماج النووى لعناصر لها الوزن الذرى للحديد أو أثقل هى تفاعلات نادرة فى النجوم ويمكن أن تحدث فقط فى النجوم الأكبر كتلة .
طريقة ما يسمى بإمساك النيوترون neutron capture process يمكن أن تؤدى الى تخليق عناصر حتى عنصر البزمونث وهو ماله وزن ذرى ٢٠٩ تقريبا .
إما التخليق للعناصر بواسطة ما يسمى s- process فإنه يحدث بطيئا ويتخلق من خلاله العناصر الأثقل من الأكسجين والتى هى هامة للحياة فإنه يحدث خلال supernova .

٣-٣) التفاعلات السريعة (R- process) والتى يشار إليها بالإختصار(Rapid – process)

١- وهى تفاعلات إصطياد النيوترونات تحدث فى حالة نظام درجة حرارته عالية جدا وكثافة النيوترونات عالية أيضا
٢- فى هذه التفاعلات يتم قذف النواة بواسطة تدفق نيوترونات كبير لتكوين أنوية غير ثابتة غنية بالنيوترونات والتى بدورها تدخل فى تفاعلات تحلل بيتا beta decay لتكوين أنوية أكثر ثباتا لها عدد ذرى أكبر ولكن لها نفس الوزن الذرى .
التدفق النيوترونى اللازم لذلك large neutron flux يكون عادة فى حدود $١٠^{٢٢}$ نيوترون/ سم٢/ ث .

٣-٤) تاريخ السوبرنوفا[٢٩،٣٠]



شكل (٦) : قبل وبعد سوبرنوفا ١٩٨٧ أ .

١- إن ظاهرة السوبرنوفا ظاهرة قديمة ، ولكن لم يكن فى قدرة البشر حتى ملاحظة وتسجيل هذا الحدث إلا بعد فترة طويلة من الحضارة البشرية فقد كان أول تسجيل لها فى ظل الحضارة العربية عام ١٠٠٦ م ، ولذا سميت السوبرنوفا العربية (Arab supernova) .
٢- وفى عام ١٠٥٤ م سجل الصينيون نفس الظاهرة وسميت السوبرنوفا الصينية (أو سوبرنوفا السرطان ، وهى التى تبقى منها سديم السرطان (Carb Nebula) .
٣- وفى عام ١٥٧٢ م رصد الفلكى الألمانى تايكو براهه نفس الظاهرة ، والتى سميت سوبرنوفا تايكو (Tycho's supernova) .

29 - http://www.aavso.org/vstar/vsots/0301. html

30 - http://scienceworld.wolfram.com/astronomy/supernova.html

٤- وفى عام ١٦٠٤م رصد جوهنز كبلر (تلميذ تايكو براهه) نفس الظاهرة وسميت سوبرنوفا كبلر (Kepler's supernova) .
٥- وفى عام ١٦٦٧م رصدت نفس الظاهرة وسميت سوبرنوفا كاثيوبيا أ (Casseopia a supernova) .
٦- أما أول تسجيل حى فى التاريخ البشرى لظاهرة السوبرنوفا فقد كانت تلك التى حدثت فى ٢٣فبراير ١٩٨٧ ، والتى سميت فيها هذه السوبرنوفا باسم " س ن ١٩٨٧ أ " (SN 1987a)، وهى التى تم رصدها فى شيلى ، ونيوزيلندا فى نفس التاريخ فى آن واحد .
٧- السوبرنوفا هى نهاية حياة نجم بواسطة الإنفجار.
٨- والطاقة المتولدة من الإنفجار شئ لا يمكن تخيله.
٩- وخلال ال١٠ ثوان الأولى من السوبرنوفا فإن قلب النجم ينهار.
١٠- وتطلق طاقة من مسافة ٢٠ميل فى مركز النجم الى كل النجوم و المجرات فى الكون المرئى (فهى إعلان نهاية حياة نجم) .
١١- إنها لحظة نادرة لرؤية القوة Spectacular show of power .
١٢- فالسوبرنوفا : هى وسائل الإمداد الأساسية فى الكون لعناصر الحياة مثل الكربون والأكسجين والعناصر الثقيلة مثل الحديد فكلها تنتج بواسطة (nucleosynthesis) التخليق النووى فى النجوم .
١٣- فى إنفجار الموت النجمى (Explosive death of star) هذه العناصر (التى خلقت أثناء فترة نضوج النجم) يتم إعادة تدويرها فى نجوم جديدة .
١٠-كمية الحرارة والضغط التى تنطلق من السوبرنوفا ربما تخلق مناطق جديدة من مولد النجوم وذلك عن طريق ضغط المواد الموجودة بين النجوم (Interstellar media) .
١٤- الحديد أقوى عنصر فى إرتباط نواته الذرية ، وهو الذى يحدد نهاية حياة نجم حيث أنه لا طاقة يمكن أن تنطلق من إندماجه ، وفى هذه الحالة اللب يولد الكترونات .
١٥- كثافة أنوية الحديد تكون عالية لدرجه أن إتحاد الالكترونات معها يكون الماغنسيوم (عودة للخلف) .
وهنا مع درجة الحرارة العالية ووجود أشعه جاما يتحلل الماغنسيوم مرة ثانية الى أنوية الهيليوم .

٣-٥) تشريح السوبرنوفا[31]

- النجوم مثل الناس ، تولد و تعيش و تموت .

١- النجوم تعيش بإندماج العناصر الخفيفة فى منطقة اللب إلى عناصر ثقيلة مع إنطلاق طاقة هائلة ، وأرتفاع درجة الحرارة .
٢- الضغط المتولد عن الإحتراق يمسك طبقات النجم - ضد قوى الجاذبية الهائلة - الخارجية من الإنهيار إلى لب النجم .
٣- إنتاج النجم للعناصر خلال تفاعلات الإندماج النووى محدودة ، و عندما يتوقف إنتاج العناصر يموت النجم .
٤- السوبرنوفا :- هى صورة موت النجم .

---
31 - http://curious.astro.cornell.edu/supernovae.php

٣-٥-١ - تشريح السوبرنوفا :-

١- النجوم بجميع كتلها تقضى حياتها فى تفاعل إندماج أنوية الهيدروجين و تحويلها إلى هيليوم .
٢- هذه هي مرحلة التتابع الرئيسي (The main sequence) لحياة النجوم .
٣- عندما جميع الأيدروجين في قلب النجم يتحول الى الهيليوم يبدأ النجم فى حرق الهيليوم الي كربون.
٤- وهنا يبدأ نضوب الهليوم من قلب النجم .
٥- ولكي تستمر حياة النجم ، يجب أن يستمر في حرق العناصر الأثقل فالأثقل تدريجيا . وهذا يتطلب حرارة كافية لحرق العناصر الأثقل (وهذا بالطبع يتوقف على كتلة النجم) .
٦- النجوم التي لها كتلة حوالي ٥ مرات كتلة الشمس أو أكبر تستطيع أن تفعل ذلك (فتستمر في مسلسل حرق العناصر الأثقل فالأثقل) .
وذلك بحرق الهيدروجين ثم الهليوم ثم الكربون ، ثم الأكسجين ثم السيلكون .... و هكذا حتى تصل الى مرحلة حرق الحديد .

- هذا التفاعل (الإندماج النووى) يتوقف خاصة عند الحديد ، ذلك لأن الحديد هو أخف عنصر فى الجدول الدوري للعناصر الذي لا يطلق طاقه عند محاوله دمجه معا (fuse it together) ، فى الحقيقة بدلا من إنتاجه الطاقة ، فإنه يحتاج طاقة .
- ذلك يعنى أنة بدلا من توليد ضغط زائد يكون قادر على إمساك مسافات أبعد من الطبقات الخارجية عن قلب النجم المحترق ، فإن الحديد يأخذ طاقه حرارية من قلب النجم .
- و بهذا لا يصبح هناك ما يقاوم قوى الجاذبية إلى لب النجم ، و بذلك ينهار النجم (collapse) إلى الداخل .
- إن نقص الضغط الإشعاعى (الناتج عن إندماج الحديد فى لب النجم) يتسبب فى إن الطبقات الخارجية تسقط تجاه مركز النجم .
- هذا الإنهيار يحدث بسرعة جدا حيث إنه يكتمل فى غضون ١٥ ثانية.
- عند حدوث هذا الإنهيار السريع للطبقات الخارجية عن العناصر تجاه مركز النجم ، تدفع أنوية هذه العناصر قريبة جدا من بعضها لدرجة تكفى لتكون العناصر الأثقل من الحديد (وهذا ما يفسر تكون العناصر الأثقل من الحديد فى هذه الحالة) .

٣-٥-٢- ما يحدث بعد ذلك يعتمد على كتلة النجم :-

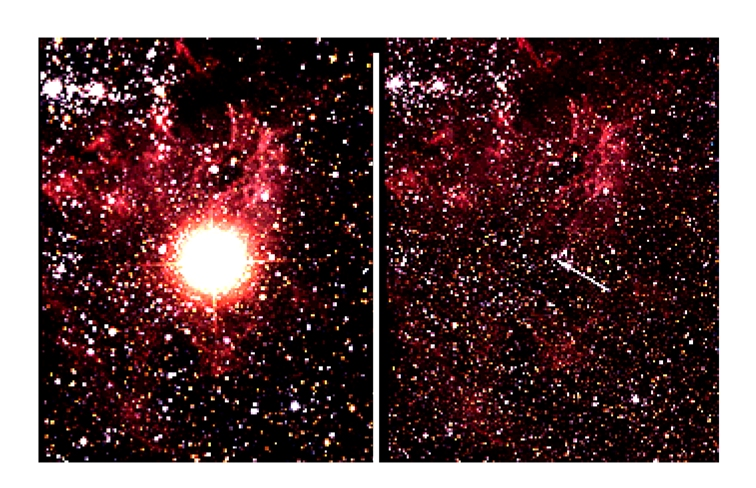
١- النجوم التى لها كتلة من ٥-٨ أمثال كتلة الشمس تكون نجوم نيوترونية أثناء الإنفجار إلى الداخل (implosion) حيث أن أنوية الذرات فى منطقة اللب تدفع قريبة جدا من بعضها لدرجة كافية لتكوين لب نيترونى مركز (Dense neutron core) .

٢- النجوم التى لها كتلة أكبر من ١٠ أمثال الشمس يكون لها نهاية مختلفة . فى الحقيقة فى هذه الحالة لا يكون هناك قوة طبيعية (physical) كافية لإيقاف هذا الإنهيار ، و بالتالى يتكون ثقب أسود (Black hole) ، أو تتكون منطقة من الزمكان (space - time) و التى تكون صغيرة جدا و مركزة جدا لدرجة أنه و لا حتى الضوء يمكن أن يهرب من جاذبيتها .

السوبرنوفا الناتجة عن إنفجار نجم واحد ربما تكون لامعة لدرجة كافية للمعان أو إضاءة مجرة كاملة ، ومن المعتقد أن كل العناصر الأثقل من الهيدروجين و الهيليوم إما أنها تتولد فى حياة النجوم أو عند موتها (سوبرنوفا) .
و إنفجار النجوم يؤدى إلى تكون هذه العناصر الجديدة فى مجال المساحة الكونية بين النجوم القريبة. ومن هذه العناصر الجديدة تتولد النجوم الجديدة و هكذا تستمر الدورة الكونية (Cosmic cycle) .
(٤) هكذا تكون العناصر الثقيلة أتت إلى الشمس حينما تكونت الكواكب فى النظام الشمسى من المواد المتبقية (left over materials) فى القرص الأولى فى مرحلة ما قبل ميلاد الشمس (proto- sun) .

- كل العناصر الثقيلة فى الأرض (طبعا إبتداء من الحديد) حتى التى فى الكائنات الحية ، قد أتت من نفس المصدر.
- و هكذا يعنى أننا مساحيق النجوم (Star dust) .

٣-٦) أنواع و أسباب السوبرنوفا[32]



شكل (٧) قبل و أثناء حدوث سوبرنوفا ١٩٨٧ أ .

الصورتان فى شكل (٧) هما لنفس الصفحة من السماء ، ولكن الجزء الأيمن من الشكل هو لصفحة السماء قبل حدوث السوبرنوفا التى سميت سوبرنوفا ١٩٨٧ أ (SN 1987a) ، أما الجزء الأيسر من الشكل فهو لنفس الصفحة من السماء أثناء حدوث السوبرنوفا المشار إليها سابقا . السوبرنوفا هى واحدة من أقوى قوى الإنفجار

[32] - http://www.astro.psu.edu/xray/snr/snr.html

فى الكون حيث أن قوة إنفجار السوبرنوفا تعادل قنبلة قوتها ١٠ ^{٢٨} ميجا طن و هو ما يعادل قوة إنفجار ١٠ ^{٢٧} (Octillion) رؤوس نووية .

(٣-٦-١) أنواع السوبرنوفا :

تنقسم السوبرنوفا إلى نوعين رئيسيين هما :-

١- النوع الأول (I) ١ أ : وهى تحدث عادة فى النجوم من نوع الأقزام البيضاء التى عادة يكون لها غلاف من الأيدروجين ، وهى تحدث في النجوم من نوع الأقزام البيضاء (White dwarf)،و كذلك فى نظم النجوم المزدوجة (binary) : حيث يقوم نجم بضم المادة من تابعة ، ذلك عندما تصل كثافة لب القزم الأبيض الى ٢X ١٠ ^{٩} جم/ سم٢ وهذه الكثافة كافية لبداية إندماج نووى للكربون و الأكسجين وعند ذلك ينفجر النجم محدثا سوبرنوفا .

٢- النوع الثانى (II) : تحدث في نهاية حياة نجم ذو كتلة كبيرة من نوع العماليق الحمر (Red giant) ، عندما تنضب طاقة النووية (إنتهاء وقوده النووى) ولا يصبح هناك إطلاق لطاقة نووية . إذا كان لب النجم (الحديدى) كافيا ، فإنه سوف ينهار و يحدث سوبرنوفا .

٣- إذا كان النجم كبير الوزن ولكنة تخلص من غلاف الهيدروجين نتيجة الرياح النجمية العاتية فقد تخلص النجم من الغلاف الخارجى (الهيدروجين) وبالتالي هذا النوع من النجوم رغم كونه من النجوم الكبيرة الوزن من النوع (II) ، إلا انه يسمى من المجموعة ١ب (لأنة كان يحتوى غلاف هيدروجين) . إذن النوع ١أ : يحتوى غلاف هيدروجين ، بينما النوع ١ ب : كان يحتوى غلاف هيدروجين و فقد منه نتيجة الرياح النجمية العاتية (وهو وسط بين النوعين (I) ، (II) .

(٣-٦-٢) أسباب حدوث السوبرنوفا :-

١- الجاذبية هى التى تعطى السوبرنوفا طاقتها .

٢- في النوع (II) :

أ – الكتلة تنهار الى اللب بإستمرار تخليق الحديد أثناء الإندماج النووي .

ب- عندما يصل اللب الى كمية من المادة عالية جدا لا يمكن للب أن يتحملها ، فإن اللب ينفجر الى الداخل (Implodes) .

ج- هذا الإنفجار للداخل يمكن أن يتوقف بواسطة النيترونات (فهي الشئ الوحيد الذي يمكنه إيقاف هذا الإنهيار نتيجة الجاذبية (Gravitational collapse).

د- ولكن يمكن أيضا أن تفشل النيترونات في إحداث هذا التأثير (إذا كان لب النجم كبير جدا).

هـ- إذا أوقفت النيترونات هذا الإنهيار للداخل تجاه تكون كتلة لب حديدية صلبة ، فإنه يحدث إرتداد للإنفجار بدلا من إلى الداخل (Implode) إلى الانفجار إلى الخارج(Explode) .

٣- في النوع (I) : الإنفجار يحدث نتيجة إنتهاء تفاعلات الإندماج النووى للكربون و الأكسجين فى لب القزم الأبيض .

اللب هو المركز الصغير جدا من النجم الكبير جدا والذى ظل ملايين السنين يصنع الكثير من العناصر (ليس كل العناصر) الموجودة في الأرض . عندما ينهار النجم فإن موجة الإنفجار الناتجة تكون فى حدود طاقة ١٠ ^{٢٨} ميجا طن . هذه الموجة الإنفجارية تسبب تطاير غلاف النجم الخارجى الى المساحات بين النجوم ، دافعا العناصر التى خلقت أثناء الإنفجار الى الخارج فى الوقت الذى يصبح فيه النجم سوبرنوفا .

١- فى النجوم الأقل كتلة ٥ مرات من كتلة الشمس ، فإن النيوترونات تنجح فى وقف إنهيار لب النجم مكونة نجم نيترونى (النجوم النيوترونية تظهر أحيانا كنجوم نابضة (pulsars) أو كنظام مزدوج يُشع فى نطاق الأشعة السينية).

٢- أذا كانت كتلة النجم أثقل ٥ مرات من كتلة الشمس ، لا شئ في الكون يمكن أن يوقف إنهيار النجم ، وبالتالى ينهار لب النجم على نفسه أيضا مكونا ثقب أسود (مادة ذات كثافة عالية جدا لدرجة أن الضوء لا يمكن أن يهرب من جاذبيتها) .

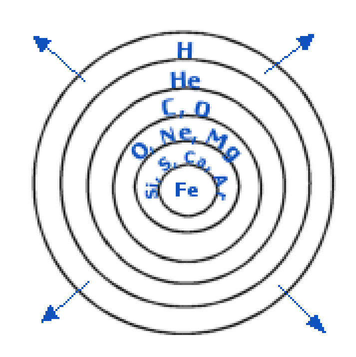
العديد من العناصر الأكثر شيوعا صنعت فى التفاعلات النووية في لب النجوم ، وكذلك العديد منها لم يتم صنعة فيها . ذلك لإن صنع العناصر الأثقل من الحديد تحتاج الى طاقة وليست منتجة طاقة ، وهذه التفاعلات الأخيرة لا تحدث تحت الظروف الطبيعية في النجوم.
بالإضافة الى خلق العناصر الأثقل من الحديد فإن المستسعرات (Supernovae) تؤدى الى بعثرة أو إطلاق أو رجم هذه العناصر (سواء التى تخلق تحت الظروف الطبيعية الأخف من الحديد أو التى تخلق تحت ظروف المستسعرات نفسها وهى الأثقل من الحديد) الى المسافات بين النجوم . وهذه العناصر هي التي تكون النجوم و الكواكب وكل شئ على الأرض .... حتى الإنسان .

٣-٦-٣)الآثار الباقية من السوبرنوفا[33]
Supernova remnants

١- الآثار الباقية من السوبرنوفا هى تلك الأجسام التى تنتج خلال إنفجار نجم كبير الكتلة فى نهاية حياته . هذا الإنفجار يسمى سوبرنوفا وهو واحدة من أكثر الأحداث إنتاجا للطاقة فى الكون ويتسبب ذلك فى أن نجم واحد يتسبب فى إضاءة مجرة كاملة تلك التى يقع فيها هذا النجم .
٢- آخر سوبرنوفا يمكن مشاهدتها من على الأرض مباشرة حدثت سنة ١٦٠٤م
٣- ولهذا السبب كان إكتشاف السوبرنوفا (SN 1987a) فى مجرة سحابة مجلان القريبة من مجرة درب التبانة سنة ١٩٨٧ كانت مثيرة للغاية لعلماء الفلك . لقد كانت السوبرنوفا الوحيدة التى أمكن رؤيتها بالعين المباشرة خلال ال٤٠٠ سنة الماضية .
٤- ويعتقد العلماء أن السوبرنوفا تحدث فى مجرتنا (درب التبانة) مرة كل ١٠٠ عام تقريبا .
٥- كمية الطاقة الهائلة الناتجة عن إنفجار السوبرنوفا لها تأثيرات هائلة على مساحات بين النجوم (الغازات بين النجوم) .
٦- الإنفجار نفسه يشمل لب النجم الكبير والذى عادة يتكون من الحديد (عندما يحدث الإنفجار).
٧- عندما يولد النجم يتكون من ٩٠% هيدروجين ، ١٠%هيليوم .
٨- تفاعلات الاندماج النووى التى تحدث فى مركز النجم تؤدى الى إتحاد أنوية الهيدروجين (بروتونات) لتكوين أنويه الهيليوم وعند ذلك تنطلق الطاقة التى هى وقود النجم أثناء فترة حياته الطويلة .
٩- عندما يتلاشى الهيدروجين من مركز النجم فان المكون الرئيسى فى هذه الحالة يكون أنويه الهيليوم ، والتى بدورها تدخل فى تفاعلات اندماج نووى فتنتج الكربون ، النيتروجين ، الأكسجين ، مطلقة كميات أكبر من الطاقة(كما سبق شرحه) .
١٠- التفاعلات الأخيرة تستمر ومعها يستمر كبر حجم لب النجم وإطلاقه الطاقة .
١١- تستمر هذه التفاعلات حتى يصبح لب النجم مكونا من لب الحديد / والنيكل محاطا بواسطة أغلفه من السيليكون / كبريت ، والنيون / ماغنيسيوم ،والكربون / نيتروجين / أوكسجين ثم الهيليوم ثم الهيدروجين .

[33] - http://www.astro.psu.edu/xray/snr/snr.html

١٢- تركيبة النجم فى هذه الحالة تكون على شكل بصلة قلبها من الحديد والنيكل محاطة بالأغلفة المختلفة السابقة الذكر ، كما هو موضح بالشكل (٨) .



شكل (٨) : يوضح توزيع التخليق النووى للعناصر فى أغلفة النجم .

١٣- في اللحظة التي يتحول فيها لب النجم إلى الحديد / النيكل فإن ذلك يعنى إمتصاص كل طاقة النجم ، وليس هناك أى طاقة فى النجم كافية لإحداث تفاعل إندماج نووى جديد (حيث أن تفاعلات الإندماج النووى ما بعد الحديد) تكون تفاعلات endothermic ممتصة للطاقة وليس مطلقة للطاقة exothermic).

١٤- ولذلك ينهار لب النجم فى انفجارا كارثيا مكونا إما نجم نيوترونى أو ثقب أسود حسب كتلة النجم .

١٥- ونتيجة الإنفجار ، فإن الطبقات الخارجية من النجم تنفجر للخارج فى الفضاء بسرعة تصل إلى ١٥ ألف كم/ث (أكثر من ٣٠ مليون متر / الساعة).

١٦- وهناك نتيجتين أساسيتين لذلك الإنفجار :-

الأولى:-

١- الإنفجار الهائل يكون له تأثيرات قوية على المسافات بين النجوم ، فتكون فجوة (Hole) فى المسافات بين النجوم تمتد تدريجيا حتى تصل لمسافة عدة مئات من السنوات الضوئية فى قطرها .

٢- درجة الحرارة فى هذه الفجوة تكون حوالى عدة ملايين من الدرجات المئوية ،و لكنها تحتوى فقط ربما بروتون واحد فى كل لتر .

٣- و بالتالى فإن هذه المسافات بين النجوم يحدث لها تشتت عنيف نتيجة حدوث إنفجار السوبرنوفا ، و مما يؤثر على توزيع الغازات فى المجرة .

٤- الصدمات الموجية (Shock waves) المتكونة نتيجة الإنفجارات تكون نجوم جديدة

٥- وهكذا يستمر موت ومولد النجوم .

الثانية :-

١- أيضا إنفجارات السوبرنوفا تكون من الأهمية بسبب توزيع العناصر الكيميائية فى المسافات بين النجوم .

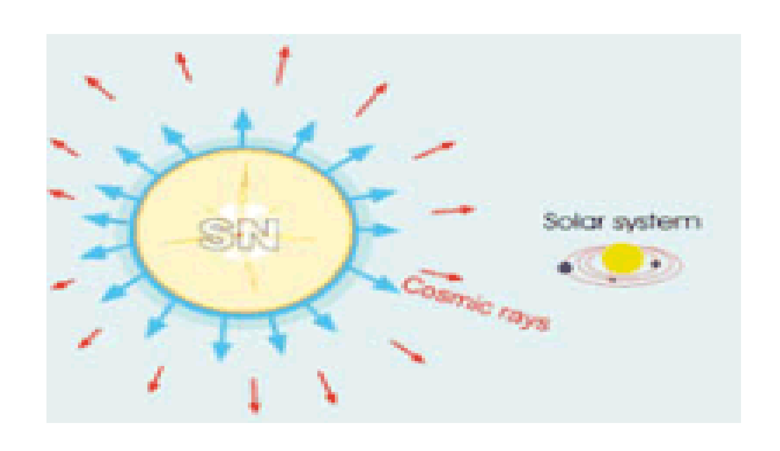
٢- الإنفجار العظيم (Big Bang) أنتج قليل جدا من المواد بجانب الهيدروجين و الهيليوم .

٣- ونحن الآن نجد أن الأرض تتكون من العديد من العناصر و المركبات غير الهيدروجين و الهيليوم .

٤- هذه العناصر و المركبات (الأخرى الموجودة فى الأرض) و كان قد تم إنتاجها ، وبعثرتها ، ورجمها ، وإنزالها ، وإرسالها (إما أثناء

حياة النجوم من السليكون وحتى الحديد) و إما أثناء إنفجار السوبرنوفا (ما بعد الحديد) إلى المسافات بين النجوم البعيدة عن فجوة الإنفجار النجمى .
٥- ثم أيضا فإن المتبقيات من إنفجارات السوبرنوفا بعد أن تبرد و تتمركز تكون سحابات بين النجوم و التى فيها تتكون النظم النجمية الجديدة (نجوم وكواكب ونيازك ومذنبات .... الخ) .

٣-٦-٤) رواسب حديد بحرية من سوبرنوفا حدثت منذ ٥ مليون عام[٣٤]



شكل (٩) : سوبرنوفا تقذف من محتوياتها إلى المجموعة الشمسية .

١- يوضح الشكل (١٣) طريقة إنزال (رجم) المجموعة الشمسية بنواتج إنفجار سوبرنوفا .
٢- حدث هذا الإنفجار النجمي الذى رجمت منة المجموعة الشمسية منذ ما يقرب من ٥ مليون سنة .
٣- إستطاع العلماء الحصول على عينات من ٣ طبقات رقيقة من الرواسب البحرية (sea sediments) تسمى قشرة الحديد - منجنيز (Ferromaganese crust) ،
وفيها وجود جسيمات من حديد- ٦٠ (وهو نظير مشع ينتج خلال السوبرنوفا) .
٤- تم فصل الحديد- ٦٠ عن العناصر و المركبات الأخرى و حتى عن النيكل- ٦٠ .
٥- كمية الحديد- ٦٠ فى حجم معلقة شاي كانت كافية لإثبات حدوث السوبرنوفا .
٦- الطبقة الحديثة (العليا) من الثلاث طبقات السابقة الذكر كانت تحتوى عدد(١٤) أيون حديد ، بينما الطبقة الوسطى كانت تحتوى عدد (٧) أيونات حديد-٦٠ ، والطبقة القديمة (السفلى) كانت تحتوى عدد(٢) أيونات حديد-٦٠ .
٦-أيونات الحديد فى الطبقة الوسطى أثبتت أن عمرها من ٤-٦ مليون عام وهو زمن حدوث السوبرنوفا التي أنتجت هذه الأيونات ، إنها سوبرنوفا من النوع II حدثت منذ حوالى ٥ مليون عام مضت .
٧- بعد حدوث الإنفجار النجمي ، فإن غاز الحديد- ٦٠ تكثف حول جسيمات من الغبار من النجم .
٨- وظلت أيونات الحديد – ٦٠ منجذبة على ظهر جسيمات الغبار هذه حيث كانت لها السرعة الكافية لإختراق الرياح الشمسية و الوصول الى الأرض .

34 - http://www.sciencenews.org/pages/sn_arc99/7_10_99/fob3.htm

المراجع

أولاً : المراجع العربية :-

١- القرآن الكريم .
٢- القرطبى : محمد بن أحمد الأنصارى - تفسير القرطبى – الجامع لأحكام القرآن – المجلد (١٧-١٨) -مكتبة الإيمان – المنصورة – مصر .
٣- ابن كثير : الحافظ عماد الدين - تفسير القرآن العظيم – المجلد الرابع – دار المعرفة – بيروت – لبنان – ١٩٨٠ .
٤- قطب : سيد – فى ظلال القرآن – دار الشروق – المجلد ٦ – بيروت – القاهرة – ١٩٨٧ .
٥- الأصفهانى : الراغب – معجم مفردات ألفاظ القرآن – ص ٥٤٣ - دار الكتب العلمية – بيروت – لبنان – ١٩٩٧ م .
٦- الزندانى : د. عبد المجيد – سعاد يلدرم – محمد الأمين ولد محمد – من أبحاث المؤتمر الأول للإعجاز العلمى – تأصيل الإعجاز العلمى فى القرآن والسنة – ص ١١ – ١٩٨٧ م .
٧- النجار : د. زغلول – من آيات الإعجاز العلمى فى القرآن – مكتبة الشروق – القاهرة- مصر - ٢٠٠١ م .

ثانياً : المراجع الأجنبية :-

1- Fewell, M.P.(1995) : The Atomic Nuclide with the Highest Mean Binding Energy . Am. J. Phys. 63, July 1995 .

ثالثاً : مواقع الإنترنت :-

1- www.55a.net
2- http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/energy/cno.html
3- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/carbcyc.html#c1
4- www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin2.html#c1
5- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin.html
6- http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.731/outputRegister/html
7- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin.html
8- http://en.wikipedia.org/wiki/Supernova_nucleosynthesis#Supernovae
9- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/astfus.html
10- http://www.aavso.org/vstar/vsots/0301.shtml
11- http://scienceworld.wolfram.com/astronomy/supernova.html
12- http://curious.astro.cornell.edu/supernovae.php
13- http://www.astro.psu.edu/xray/snr/snr.html
14- http://www.astro.psu.edu/xray/snr/snr.html
15- http://www.sciencenews.org/pages/sn_arc99/7_10_99/fob3.htm
16- http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/energy/bindingE.html